

# Электричество и магнетизм

## Вопросы с ответами и комментариями

Дополнение к методическому пособию  
«Электричество и магнетизм.  
Сборник вопросов с ответами и комментариями».  
И.Н.Горбатый. Москва 2011 г

Июнь, 2015 г

**Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции**

1. Неподвижные точечные заряды  $q_1$  и  $q_2$  находятся в вакууме. Вектор  $\vec{r}$  проведен от заряда  $q_1$  к заряду  $q_2$ . Сила  $\vec{F}$ , действующая на заряд  $q_2$  со стороны  $q_1$ , равна:

А)	$\vec{F} = \frac{q_1 q_2 \vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3},$	Б)	$\vec{F} = -\frac{q_1 q_2 \vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3},$	В)	$\vec{F} = \frac{ q_1   q_2  \vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3},$	Г)	$\vec{F} = \frac{ q_1   q_2  \vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$
----	---	----	--	----	---	----	---

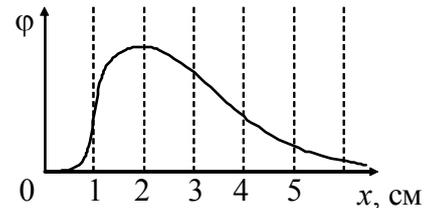
2. В точке  $A$ , расположенную вблизи неподвижного заряженного тела, поместили пробный заряд  $q_1$  и измерили действующую на него силу  $\vec{F}_1$ :  $F_{1x} = 3$  мкН,  $F_{1y} = 4$  мкН,  $F_{1z} = 0$ . Затем заряд  $q_1$  убрали на большое расстояние, поместили в точку  $A$  другой пробный заряд  $q_2$  и измерили проекцию действующей на него силы:  $F_{2x} = -9$  мкН. Определите отношение  $q_2/q_1$ .

**Теорема Гаусса**

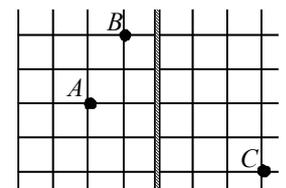
3. Точечный заряд  $q$  расположен в центре куба. Найдите поток вектора напряженности через одну грань куба.

**Потенциал**

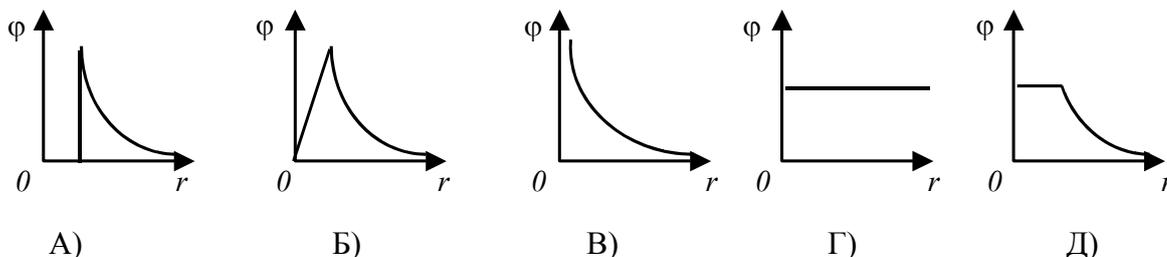
4. Точечные положительные заряды  $q$  и  $2q$  расположены в вершинах  $A$  и  $B$  прямоугольного равнобедренного треугольника  $ABC$  ( $C$  - вершина прямого угла). Во сколько раз уменьшится потенциал электрического поля в точке  $C$ , если знак меньшего по величине заряда изменить на противоположный?
5. Два точечных заряда  $+q$  и  $-2q$  закреплены в точках с координатами  $(a, 0, 0)$  и  $(-a, 0, 0)$  соответственно. Определите работу  $A$  сил электрического поля, создаваемого этими зарядами, при перемещении точечного заряда  $3q$  из бесконечности в начало координат.
6. В точках, лежащих на оси  $X$ , потенциал  $\phi$  некоторого электростатического поля зависит от координаты  $x$ , как показано на рисунке. В какой точке проекция вектора напряженности на ось  $X$  максимальна по модулю?



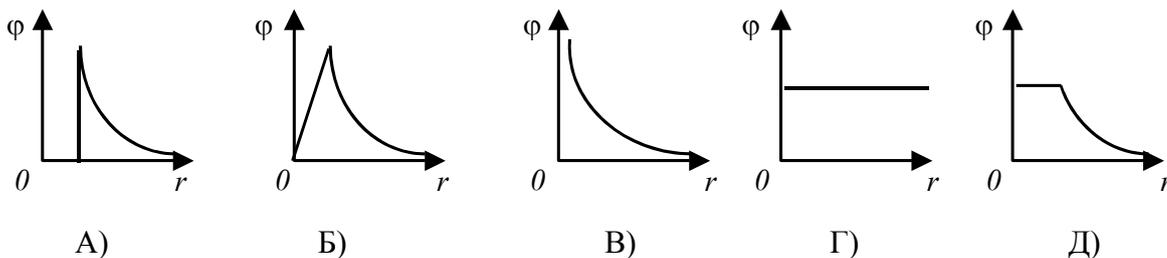
7. Точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  находятся вблизи равномерно заряженной плоскости (она показана на рисунке штриховкой). Известна разность потенциалов  $\phi_A - \phi_B = 10$  В в точках  $A$  и  $B$ . Определите знак заряда плоскости и разность потенциалов  $\phi_A - \phi_C$  в точках  $A$  и  $C$ .



8. На каком рисунке изображен график зависимости потенциала  $\phi$  от расстояния  $r$  до центра однородно заряженного по поверхности шара?

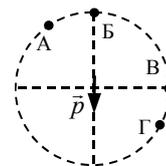


9. На каком рисунке изображен график зависимости потенциала  $\varphi$  от расстояния  $r$  до центра однородно заряженной по поверхности сферы?



### Диполь

10. Точки А, Б, В и Г расположены на равных расстояниях от точечного диполя, как показано на рисунке. Расположите модули  $E_A$ ,  $E_B$ ,  $E_V$  и  $E_G$  векторов напряженности электрического поля в этих точках в порядке возрастания, начиная с наименьшего.



11. Два диполя расположены на оси  $X$  так, что их дипольные моменты направлены в положительном направлении оси  $X$ . В этом случае:

А)	диполи притягиваются друг к другу
Б)	диполи отталкиваются друг от друга
В)	сила взаимодействия диполей равна нулю

### Проводники

12. Электростатическое поле внутри проводника равно нулю, если:

А)	суммарный заряд проводника равен нулю,
Б)	вблизи проводника отсутствуют другие заряды,
В)	заряд равномерно распределен по поверхности проводника,
Г)	во всех перечисленных выше случаях.

13. Два металлических шара радиусами  $R$  и  $2R$  расположены на некотором расстоянии друг от друга. Заряд одного шара  $Q$ , другой шар не заряжен. После соединения шаров тонкой проволокой в установившемся состоянии станут равными:

А)	потенциалы шаров
Б)	заряды шаров
В)	поверхностные плотности зарядов на шарах
Г)	напряженности электрического поля вблизи каждого из шаров

14. На точечный заряд  $q$ , расположенный на расстоянии  $h$  от бесконечной проводящей плоскости, со стороны плоскости действует сила:

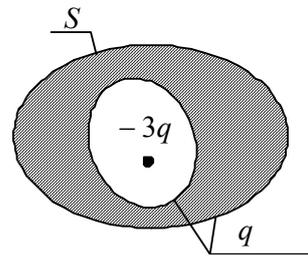
А)	$F = 0$	Б)	$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 h^2}$	В)	$F = \frac{q^2}{16\pi\epsilon_0 h^2}$	Г)	$F = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 h^2}$
----	---------	----	--------------------------------------	----	---------------------------------------	----	--------------------------------------

15. В однородное электрическое поле  $\vec{E}_0$  перпендикулярно силовым линиям внесли тонкую заряженную металлическую пластинку. При этом на поверхности пластины, в которую «входят» силовые линии, плотность заряда оказалась равной  $\sigma_1$ . Поверхностная плотность заряда на другой поверхности пластины равна:

А)	$\sigma_1 - 2\epsilon_0 E_0$	Б)	$-\sigma_1 + 2\epsilon_0 E_0$	В)	$\sigma_1 + 2\epsilon_0 E_0$	Г)	$-\sigma_1 - 2\epsilon_0 E_0$
----	------------------------------	----	-------------------------------	----	------------------------------	----	-------------------------------

16. Полому проводнику сообщили заряд  $q$ , а внутрь полости поместили точечный заряд  $(-3q)$  (см. рис.). Заряд на внешней поверхности  $S$  проводника равен:

А)	$q$ ;
Б)	$-2q$ ;
В)	$+3q$ ;
Г)	Заряд зависит от положения заряда $-3q$ и формы полости.



### Конденсаторы

17. Если радиус каждой обкладки сферического конденсатора увеличить в 2 раза, то емкость конденсатора:

А)	увеличится
Б)	уменьшится
В)	не изменится
Г)	может как увеличиться, так и уменьшиться в зависимости от радиуса внутренней обкладки

### Энергия электрического поля

18. Расстояние между точечными зарядами  $q$  и  $2q$  уменьшили в 2 раза, медленно перемещая заряды различными способами, как показано на рисунке. Если  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  и  $A_4$  – соответствующие работы внешних сил, то:

А)  $A_1 = A_2 = A_3 = A_4$ ;    Б)  $A_1 > A_3$ ;    В)  $A_2 < A_4$ .

Работа $A_1$	Работа $A_2$	Работа $A_3$	Работа $A_4$

19. В вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a$  расположены точечные заряды  $(-q)$ ,  $(+2q)$  и  $(+2q)$ . Энергия взаимодействия этих зарядов равна:

А)	0	Б)	$kq^2/a$ ,	В)	$4kq^2/a$	Г)	$2kq^2/a$
----	---	----	------------	----	-----------	----	-----------

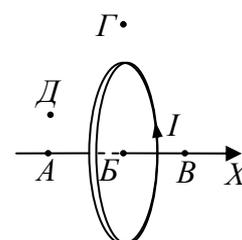
20. Во сколько раз увеличится объемная плотность энергии в каждой точке электрического поля, созданного неподвижным точечным зарядом  $q$ , если величину заряда увеличить в 2 раза?

А)	в 2 раза
Б)	в 4 раза
В)	в $\sqrt{2}$ раза
Г)	ответ зависит от положения точки

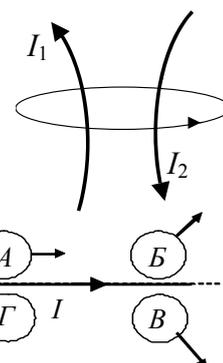
21. В вершинах равностороннего треугольника расположены точечные заряды  $(-q)$ ,  $(+2q)$  и  $Q$ . Энергия взаимодействия этих зарядов равна нулю. Определите отношение  $Q/q$ .

### Магнитное поле

22. В круговом витке из тонкого провода протекает постоянный ток  $I$ , как показано на рисунке. Ось  $X$  перпендикулярна плоскости витка и проходит через его центр. Обозначенные на рисунке точки А, Б, В лежат на оси  $X$ , точки Б, Г – в плоскости витка. В каких (одной или нескольких) точках вектор индукции магнитного поля направлен в положительном направлении оси  $X$ ?

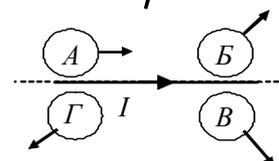


23. Циркуляция вектора магнитной индукции по контуру, охватывающему проводники с токами  $I_1$  и  $I_2$  (см. рис.), равна  $8 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  Тл·м. Найдите величину тока  $I_2$ , если  $I_1 = 10$  А. Магнитная постоянная  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.



### Электромагнитная индукция

24. На рисунке изображен длинный прямой проводник с током  $I$  и четыре проволочные рамки, которые перемещают в указанных на рисунке направлениях. В каких рамках ток течет по часовой стрелке?



### Энергия магнитного поля

25. Укажите ошибочное утверждение: Магнитная энергия  $W$  неподвижного замкнутого контура из тонкого провода, по которому течет ток  $I$ :

А)	не зависит от геометрических размеров и формы контура;
Б)	равна разности работы сторонних сил $A_{\text{стор}}$ по созданию тока $I$ в контуре и количества теплоты $Q$ , которое выделилось при этом в контуре: $W = A_{\text{стор}} - Q$ ;
В)	определяется формулой $W = LI^2 / 2$ , где $L$ – индуктивность контура;
Г)	не зависит от способа наращивания тока в контуре.

26. За некоторое время после подключения катушки индуктивностью  $L$  к источнику ЭДС источник совершил работу  $A$ , а ток в цепи стал равным  $I$ . Какое количество теплоты  $Q$  выделилось в цепи?

А)	$Q = A + \frac{LI^2}{2}$ ,	Б)	$Q = A - \frac{LI^2}{2}$ ,	В)	$Q = \frac{LI^2}{2} - A$ ,	Г)	$Q = A$ .
----	----------------------------	----	----------------------------	----	----------------------------	----	-----------

### Переменный ток

27. Конденсатор подключили к генератору синусоидального напряжения постоянной амплитуды. С ростом частоты амплитуда тока через конденсатор:

А)	увеличивается,
Б)	уменьшается,
В)	не изменяется,
Г)	может как увеличиваться, так и уменьшаться,
Д)	равна нулю.

28. Катушку подключили к генератору синусоидального напряжения постоянной амплитуды. С ростом частоты амплитуда тока через катушку:

А)	увеличивается,
Б)	уменьшается,
В)	не изменяется,
Г)	может как увеличиваться, так и уменьшаться в зависимости от сопротивления и индуктивности катушки.

### Уравнения Максвелла

29. Ротор вектора напряженности электрического поля равен нулю в том и только в том случае, если в данной точке:

А)	магнитное поле не зависит от времени;
Б)	отсутствуют токи проводимости;
В)	объемная плотность заряда равна нулю;
Г)	во всех случаях.

### Электромагнитные волны

30. В вакууме распространяется плоская монохроматическая электромагнитная волна. Периодическими функциями времени в фиксированной точке пространства являются величины:

А)	напряженность электрического поля,
Б)	объемная плотность энергии,
В)	амплитуда колебаний индукции магнитного поля,
Г)	фаза колебаний вектора напряженности.

31. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, уравнения которой имеют вид:  $\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_m \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r})$ ,  $\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_m \cos(\omega t - \vec{k}\vec{r})$ . Если  $\vec{B}_m = (0, B_m, 0)$ ,  $\vec{k} = (0, 0, k)$ , то ( $c$  – скорость света в вакууме):

А)	$E_m = (0, 0, -B_m c)$
Б)	$E_m = (cB_m, 0, 0)$
В)	$E_m = (0, cB_m, 0)$
Г)	$E_m = (-B_m c, 0, 0)$

### Поляризация

32. Пучок естественного света проходит через два идеальных поляризатора. Интенсивность естественного света равна  $I_0$ , угол между плоскостями пропускания поляриза-

торов равен  $\varphi$ . Согласно закону Малюса, интенсивность света после второго поляризатора равна:

А)  $I = I_0 / 2$ ,    Б)  $I = I_0$ ,    В)  $I = I_0 \cos^2 \varphi$ ,    Г)  $I = (I_0 / 2) \cos^2 \varphi$

### Интерференция

33. Расстояние между темными полосами на экране в опыте Юнга равно 2 мм. Эксперимент проводился с источником фиолетового света. Фиолетовый источник заменили источником красного света, длина волны которого в 1,5 раза больше. Расстояние между темными полосами стало равным:

А) 2,5 мм;    Б) 4 мм;    В) 6 мм;    Г) 1,33 мм;    Д) 3 мм

34. Как изменится ширина интерференционных полос в опыте Юнга, если одновременно уменьшить в 2 раза расстояние между щелями и увеличить в 2 раза расстояние до экрана?

А) не изменится;    Б) увеличится в 2 раза;  
В) увеличится в 4 раза;    Г) уменьшится в 4 раза.

35. Как изменится ширина интерференционных полос в опыте Юнга, если одну из щелей перекрыть тонкой стеклянной пластинкой?

А) не изменится,    Б) увеличится,  
В) уменьшится,    Г) ответ зависит от толщины пластинки.

36. Светлые кольца Ньютона в отраженном свете возникают там, где толщина воздушного зазора  $d$  между сферической поверхностью линзы и плоскопараллельной стеклянной пластинкой равна:



А)  $d = (m\lambda + \lambda/2)/2$ ,    Б)  $d = m\lambda/2$ ,    В)  $d = (m\lambda + \lambda/2)$ ,    Г)  $d = m\lambda$

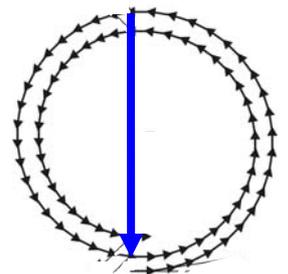
### Дифракция

37. Поставим на пути плоской световой волны интенсивности  $I_0$  непрозрачный экран с круглым отверстием. Точка наблюдения  $M$  находится на оси отверстия. Когда отверстие открывает **нечетное число** зон Френеля, то интенсивность  $I$  в точке  $M$ :

А)  $I = I_0$ ;    Б)  $I = 4I_0$ ;    В)  $I = 2I_0$ ;    Г)  $I = 0$     Д)  $I = \sqrt{2I_0}$  ;

38. Показанная на рисунке векторная диаграмма построена для случая, когда:

- А) открыта первая зона Френеля;
- Б) открыта вторая зона Френеля;
- В) открыты первая и вторая зоны Френеля;
- Г) открыта третья зона Френеля;
- Д) открыты первая, вторая и третья зоны Френеля.



39. Какое из перечисленных ниже явлений не имеет места при прохождении света через дифракционную решетку:
- А) разложение белого света в спектр
  - Б) изменение частоты световой волны
  - В) изменение направления распространения световых волн
  - Г) пространственное перераспределение энергии световой волны
40. Если увеличить ширину светового пучка, падающего нормально на дифракционную решетку, то дифракционные максимумы (выбрать 2 пункта):
- А) станут более узкими
  - Б) станут более широкими
  - В) их ширина не изменится
  - Г) сместятся к центру дифракционной картины
  - Д) сместятся от центра дифракционной картины
  - Е) не сместятся
41. При прохождении через решетку белого света все максимумы, кроме центрального, разлагаются в спектр. Ближе к центральному максимуму расположена:
- А) фиолетовая часть (линия) спектра;
  - Б) красная часть (линия) спектра;
  - В) зеленая часть (линия) спектра.

## Ответы и комментарии

1. Ответ: А.  $\vec{F} = \frac{q_1 q_2 \vec{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$  - так записывается закон Кулона в векторном виде. Из формулы следует, что если заряды одноименные, то  $q_1 q_2 > 0$  и вектор силы направлен так же как вектор  $\vec{r}$ , то есть заряды отталкиваются. Если заряды разноименные ( $q_1 q_2 < 0$ ), то сила  $\vec{F}$  направлена против вектора  $\vec{r}$  и имеет место притяжение зарядов.

2. Ответ: -3. Силы, действующие на заряды  $q_1$  и  $q_2$ , помещенные в точку  $A$ , равны:  $\vec{F}_1 = q_1 \vec{E}$ ,  $\vec{F}_2 = q_2 \vec{E}$ , где  $\vec{E}$  - вектор напряженности в точке  $A$ . Следовательно,  $F_{1x} = q_1 E_x$ ,  $F_{2x} = q_2 E_x$  и  $q_2 / q_1 = F_{2x} / F_{1x} = -3$ .

3. Ответ:  $q / 6\epsilon_0$ . По теореме Гаусса поток вектора напряженности через все 6 граней куба (образующих замкнутую поверхность) равен заряду внутри куба, деленному на  $\epsilon_0$ . В силу симметрии поток через одну грань куба в 6 раз меньше.

4. Ответ: 3. Обозначим длину катета треугольника  $a$ . Тогда потенциал в точке  $C$  поля, созданного двумя зарядами равен

$$\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 a} = \frac{3q}{4\pi\epsilon_0 a}.$$

Если знак меньшего по величине заряда изменить на противоположный, то потенциал в точке  $C$  станет равным

$$\varphi_2 = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 a} + \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 a} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} = \frac{\varphi_1}{3}.$$

5. Ответ:  $A = \frac{3q^2}{4\pi\epsilon_0 a}$ . По определению разности потенциалов:

$$A = 3q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

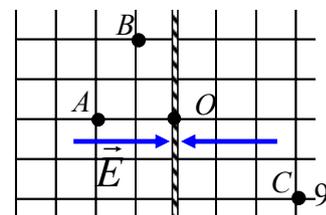
где  $\varphi_1 = 0$  - потенциал в начальной (бесконечно удаленной) точке,

$$\varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} - \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 a} = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0 a}$$

- потенциал в начале координат. Следовательно,  $A = \frac{3q^2}{4\pi\epsilon_0 a}$ .

6. Ответ:  $x = 1$  см. Воспользуемся соотношением  $\vec{E} = -\text{grad } \varphi$ , из которого, в частности, следует  $E_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$ . Из графика видно, что производная  $\frac{\partial \varphi}{\partial x}$  максимальна в точке  $x = 1$  см. Следовательно, в этой точке проекция вектора напряженности на ось  $X$  максимальна по модулю.

7. Ответ: -10 В. Из выражения  $\vec{E} = -\text{grad } \varphi$  следует, что вектор напряженности направлен в сторону убывания потенциала.



Поскольку  $\varphi_A > \varphi_B$ , то слева от плоскости (см. рис.) вектор напряженности направлен вправо. Следовательно, плоскость заряжена отрицательно. Обозначим  $\varphi_0$  - потенциал точки  $O$ , расположенной на самой плоскости. Тогда:

$$\varphi_A - \varphi_C = (\varphi_A - \varphi_0) + (\varphi_0 - \varphi_C).$$

Пусть длина стороны масштабной клетки на рисунке равна  $a$ . Учитывая, что справа от плоскости вектор напряженности направлен влево, запишем:

$$\varphi_A - \varphi_B = Ea, \quad \varphi_A - \varphi_0 = 2Ea, \quad \varphi_0 - \varphi_C = -3Ea.$$

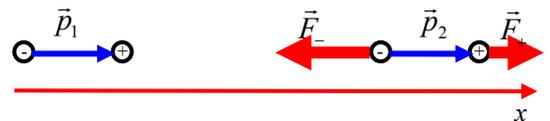
Отсюда следует, что  $\varphi_A - \varphi_C = -Ea = -10 \text{ В}$ .

8. Ответ: Д. Внутри однородно заряженного по поверхности шара напряженность поля  $\vec{E}$  равна нулю. Поскольку  $\vec{E} = -\text{grad } \varphi$ , то  $\varphi = \text{const}$ . Вне шара потенциал такой же, как в поле точечного заряда, помещенного в центр шара:  $\varphi = kQ/r$ .

9. Ответ: Д. Внутри однородно заряженной по поверхности сферы напряженность поля  $\vec{E}$  равна нулю. Поскольку  $\vec{E} = -\text{grad } \varphi$ , то  $\varphi = \text{const}$ . Вне сферы потенциал такой же, как в поле точечного заряда, помещенного в центр сферы:  $\varphi = kQ/r$ .

10. Ответ:  $E_B, E_\Gamma, E_A, E_B$ . Модуль вектора напряженности электрического поля неподвижного точечного диполя с моментом  $\vec{p}$  в точке, положение которой относительно диполя определяется вектором  $\vec{r}$ , равен:  $|\vec{E}| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|\vec{p}|}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \theta}$ , где  $\theta$  - угол между векторами  $\vec{p}$  и  $\vec{r}$ . Из этой формулы следует, что величина поля максимальна при  $\theta = 0$  и  $\theta = \pi$ , а минимальна при  $\theta = \pi/2$  (если расстояние  $r$  остается неизменным).

11. Ответ: А. Диполь с моментом  $\vec{p}_1$  создает в области, где расположен диполь  $\vec{p}_2$ , поле, вектор  $\vec{E}$  которого направлен вдоль оси  $x$ . Это поле убывает с увеличением расстояния до первого диполя, поэтому сила притяжения, действующая на отрицательный заряд второго диполя несколько больше силы отталкивания, действующей на положительный заряд второго диполя.



12. Ответ: Г. В противном случае свободные заряды в проводнике не были бы в покое.

13. Ответ: А. Так как напряженность поля в проводнике равна нулю, то и разность потенциалов для двух любых точек проводника равна нулю. Два шара, соединенные проволокой, можно рассматривать как один проводник с одним и тем же потенциалом всех его точек.

14. Ответ: В. На проводящей плоскости индуцируются заряды, знак которых противоположен знаку заряда  $q$ . Можно показать, что индуцированные заряды создают в полупространстве, где расположен заряд  $q$ , такое же электрическое поле, как точечный заряд  $(-q)$ , расположенный зеркально симметрично заряду  $q$  относительно прово-

дующей плоскости. Поэтому сила, действующая на заряд  $q$  со стороны индуцированных на плоскости зарядов, равна  $F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(2h)^2}$ .

15. Ответ: В. Рассмотрим произвольную точку  $A$  внутри проводника (см. рис.). Поле в этой точке складывается из внешнего поля  $\vec{E}_0$  и полей поверхностных зарядов  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ :

$$\vec{E}_{\text{в проводнике}} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1 + \vec{E}_2.$$

Изобразим на рисунке векторы напряженности  $\vec{E}_0$ ,  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ , предполагая, что  $\sigma_1 > 0$  и  $\sigma_2 > 0$ . Учитывая, что напряженность поля в проводнике равна нулю, запишем для проекций векторов напряженности на ось  $x$ :

$$0 = E_0 + E_1 - E_2.$$

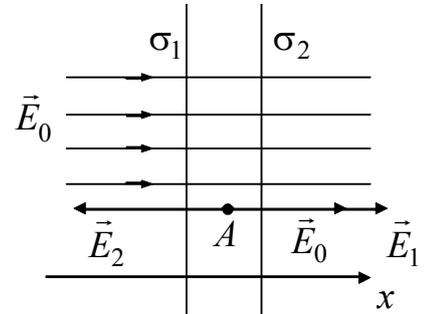
Поля  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$  созданы бесконечными однородно заряженными плоскостями, следовательно

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0}, \quad E_2 = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0}.$$

После простых преобразований получим

$$\sigma_2 = \sigma_1 + 2\epsilon_0 E_0.$$

Если знак поверхностных зарядов не известен (как в данном случае), всегда можно изображать на рисунке векторы  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$ , предполагая, что  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  положительны. Нетрудно показать, что полученные формулы будут справедливы и для произвольных знаков  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .



16. Ответ: Б. Заряд может располагаться только на поверхности проводника. Заряд на внутренней поверхности (на поверхности полости) найдем при помощи теоремы Гаусса. Выбираем замкнутую поверхность, охватывающую полость и целиком расположенную в проводнике. Поскольку напряженность поля в проводнике равна нулю, то и поток вектора напряженности через выбранную поверхность равен нулю. По теореме Гаусса этот поток равен алгебраической сумме зарядов, попавших внутрь поверхности, деленной на  $\epsilon_0$ . Следовательно, заряд на поверхности полости равен  $+3q$ . Так как суммарный заряд проводника равен  $q$ , то на внешней его поверхности располагается заряд  $-2q$ .

17. Ответ: А. Пусть заряд внутренней сферы радиуса  $a$  равен  $q$ , а заряд внешней сферы равен  $(-q)$ . Тогда потенциал внутренней сферы  $\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 b}$ . А потенциал внешней сферы  $\varphi_2 = 0$ . Емкость конденсатора  $C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{4\pi\epsilon_0}{(1/a - 1/b)}$ . Из этой формулы следует, что при увеличении радиуса каждой обкладки в 2 раза, емкость конденсатора увеличится в 2 раза.

18. Ответ: А. Работа внешних сил  $A = W_2 - W_1$ , где  $W_1$  и  $W_2$  - начальная и конечная электрические энергии системы. Эти энергии зависят только от конфигурации системы, но не от способа, которым система построена.

19. Ответ: А. Вычисляем энергию взаимодействия, как сумму всех попарных взаимодействий:

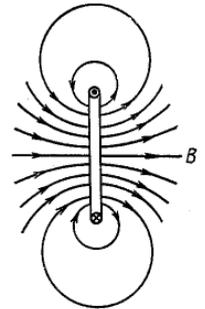
$$W = \frac{k(-q)(2q)}{a} + \frac{k(-q)(2q)}{a} + \frac{k(2q)(2q)}{a} = 0.$$

20. Ответ: Б. Объемная плотность энергии определяется формулой  $w = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}$ , а напряженность поля неподвижного точечного заряда  $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ . Из этих формул следует ответ.

21. Ответ: Q/q = 2. Энергия взаимодействия зарядов определяется формулой:

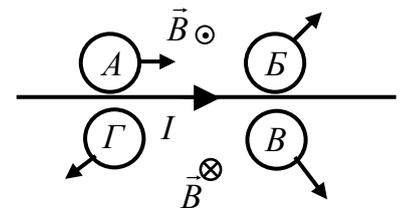
$W = \frac{k(-q)Q}{a} + \frac{k(-q)(2q)}{a} + \frac{k(2q)Q}{a}$ , где  $a$  - сторона треугольника. Приравняв энергию нулю, получим  $Q/q = 2$ .

22. Ответ: А,Б,В. Направление магнитного поля на оси витка (в точках А, Б, В) совпадает с направлением оси X. Это следует из закона Био-Савара (правило буравчика также приводит к этому выводу). Магнитные линии кругового тока замкнутые и имеют вид, изображенный на рисунке.



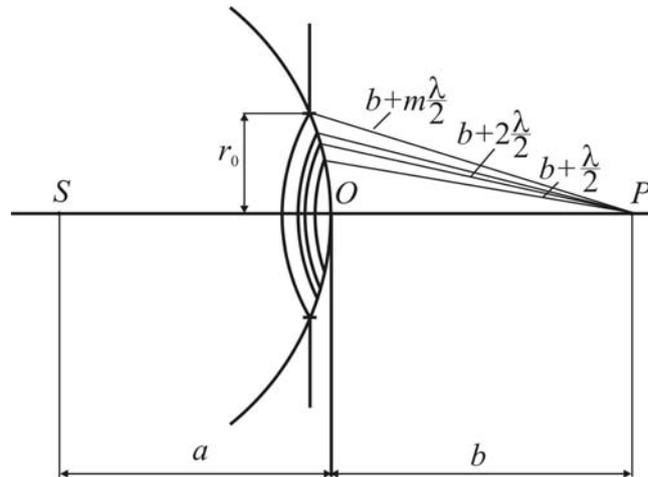
23. Ответ: 8 А. Показанное на рисунке направление обхода контура определяет (по правилу винта) направление нормали к поверхности, ограниченной контуром. Поэтому в формуле  $\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0(I_1 - I_2)$ , выражающей теорему о циркуляции, слагаемое  $I_1$  стоит с плюсом, а  $I_2$  с минусом. Учитывая, что по условию  $\oint_L \vec{B} d\vec{l} = 8\pi \cdot 10^{-7}$  Тл·м, получим ответ.

24. Ответ: В,Г. На рисунке указано направление вектора индукции магнитного поля прямого провода с током. Величина индукции  $B$  уменьшается с увеличением расстояния от провода. Поэтому величина магнитного потока через проволочные рамки Б, В и Г при их движении уменьшается. По закону электромагнитной индукции в этих рамках возникают ЭДС и ток индукции. По правилу Ленца индукционный ток должен препятствовать изменению магнитного потока через рамку. Если предположить, что индукционный ток течет в рамках по часовой стрелке, то созданное им магнитное поле направлено «от нас» в плоскость чертежа. В рамках В и Г это магнитное поле в согласии с правилом Ленца препятствует уменьшению магнитного потока через рамки при их движении, а в рамке Б, напротив, еще больше уменьшает магнитный поток, что противоречит правилу Ленца. Магнитный поток через рамку А при ее движении не изменяется и индукционный ток не возбуждается.



25. Ответ: А. Магнитная энергия не зависит от способа наращивания тока и определяется формулой  $W = LI^2 / 2$ , где  $L$  - индуктивность, зависящая от геометрических размеров и формы контура. Из закона сохранения энергии следует, что  $A_{\text{стор}} = W + Q$ .
26. Ответ: Б. По закону сохранения энергии  $A = Q + \frac{LI^2}{2}$ .
27. Ответ: А. По закону Ома для цепей переменного тока амплитуда тока через конденсатор равна  $I_m = U_m / X_C$ , где  $U_m$  - амплитуда напряжения, а  $X_C = 1 / \omega C$  - емкостное сопротивление. С ростом частоты  $\omega$  сопротивление уменьшается, а ток  $I_m$  растет.
28. Ответ: Б. По закону Ома для цепей переменного тока амплитуда тока через катушку равна  $I_m = U_m / X_L$ , где  $U_m$  - амплитуда напряжения, а  $X_L = \omega L$  - индуктивное сопротивление. С ростом частоты  $\omega$  сопротивление возрастает, а ток  $I_m$  уменьшается.
29. Ответ: А. Ответ следует из уравнения Максвелла  $\text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ .
30. Ответ: А,Б. В плоской электромагнитной волне вектора напряженности электрического поля и индукции магнитного поля определяются формулами  $\vec{E} = \vec{E}_m \cos(\omega t - kx + \alpha)$ ,  $\vec{B} = \vec{B}_m \cos(\omega t - kx + \alpha)$ , объемная плотность энергии равна  $w = \epsilon \epsilon_0 E^2 / 2 + B^2 / 2\mu\mu_0$ , а фаза колебаний  $\varphi = \omega t - kx + \alpha$ . Из этих формул следует ответ.
31. Ответ: Б. В плоской электромагнитной волне  $E_m = \nu B_m = cB_m$ . Следует также учесть, что векторы  $\vec{k}$ ,  $\vec{E}$ ,  $\vec{B}$  образуют правую тройку, то есть расположены в пространстве так же как и орты декартовой системы координат  $\vec{e}_x$ ,  $\vec{e}_y$ ,  $\vec{e}_z$ . Для ответа на вопрос можно также воспользоваться формулой:  $\vec{E} = \left[ \vec{B}, c \frac{\vec{k}}{k} \right]$ .
32. Ответ: Г. После прохождения естественного света через первый поляризатор свет становится плоскополяризованным, а его интенсивность становится равной  $I_0 / 2$ . После прохождения плоскополяризованного света через второй поляризатор по закону Малюса его интенсивность становится равной  $I = (I_0 / 2) \cos^2 \varphi$ .
33. Ответ: Д. Ширина интерференционной полосы в опыте Юнга определяется формулой  $\Delta x = L\lambda / d$ , где  $L$  - расстояние от источников до экрана,  $\lambda$  - длина волны,  $d$  - расстояние между источниками. Поэтому  $\Delta x_2 = \Delta x_1 (\lambda_2 / \lambda_1)$ .
34. Ответ: В. Ответ следует из формулы для ширины интерференционной полосы в опыте Юнга:  $\Delta x = L\lambda / d$ , где  $L$  - расстояние от источников до экрана,  $\lambda$  - длина волны,  $d$  - расстояние между источниками.

35. Ответ: А. Ширина интерференционной полосы в опыте Юнга определяется формулой  $\Delta x = L\lambda / d$ , где  $L$  - расстояние от источников до экрана,  $\lambda$  - длина волны,  $d$  - расстояние между источниками. От толщины стеклянной пластинки ширина полосы не зависит. Наличие стеклянной пластинки приведет лишь к сдвигу интерференционной картины.
36. Ответ: А. оптическая разность хода интерферирующих лучей равна  $2d$ . Учитывая, что при отражении на границе «воздух-стекло» происходит изменение фазы на  $\pi$ , запишем условие интерференционного максимума:  $2d = \lambda / 2 + m\lambda$ .
37. Ответ: Б. Из диаграммы Френеля следует, что амплитуда светового вектора увеличится в 2 раза, следовательно, интенсивность увеличится в 4 раза. На рис. показан случай, когда открыто 3 зоны Френеля.
38. Ответ: Б. Просуммированы амплитуды колебаний от всех вторичных источников, расположенных в пределах второй зоны Френеля.



39. Ответ: Б. Изменение частоты световой волны не происходит: если в падающей на решетку световой волне отсутствует спектральная составляющая с некоторой длиной волны, то этой составляющей не будет и в дифрагированной волне.
40. Ответ: А, Е. При увеличении ширины светового пучка увеличится число освещенных щелей  $N$ . Это приведет к сужению максимумов. Положение максимумов от  $N$  не зависит ( $d \sin \theta = m\lambda$ ).
41. Ответ: А. Длина волны фиолетовой части спектра меньше, чем зеленой и красной. В соответствии с формулой  $d \sin \theta = m\lambda$  угол дифракции  $\theta$  минимален при минимальной длине волны.